文章编号: 1005-6548(2008)06-0463-04

多重化整流电路的MATLAB仿真和谐波分析*

陶 慧, 杨海柱
(河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454000)

摘 要: 电力电子装置产生的谐波已成为电力系统的主要谐波污染源。在多重化整流电路结构特点基础上, 以12脉波整流电路为例, 建立了基于MATLAB-SIMULINK仿真模型并进行仿真, 分别利用Powergui和傅立叶变换对其产生的谐波电流进行分析和计算, 阐述了其消谐原理。得出结论: 整流电路采用多重化联结方法, 输出电压脉动较小, 同时很好地抑制输入电流中某些特定次数的高次谐波, 降低了电流的总谐波含量, 从而有效地提高系统的功率因数。

关键词: 整流; 多重化; 谐波; 仿真
中图分类号: TM711; TM461 文献标识码: A

随着电力电子技术整流装置功率的进一步加大, 它所产生的谐波、无功功率等对电网的干扰也随之加大, 如在电解工业中, 广泛采用可控整流来提供直流电源, 其容量达数千kW。在现代轧钢厂日益广泛采用可控整流装置来驱动直流电机, 其容量高达数万kW, 容易引起交流侧的高次谐波。为提高输出电压的质量, 减轻整流装置对电网的影响, 可采用多重化整流电路, 即按一定的规律将两个或多个相同结构的整流电路进行组合而得。将整流电路进行多重连接可以减小整流输出电压的脉动程度, 减少交流侧输入电流的谐波, 提高功率因素[3]。

1 多重化整流电路的结构

整流电路的多重连结有并联多重连接和串联多重联结。图1给出了将两个整流电路并联联接而成的电路原理图。图2给出了将两个三相全控桥整流电路串联联结而成的电路原理图。图1的并联联结电路与图2的串联联结电路相比, 多使用了一个平衡电抗器, 其作用为平衡两组整流器的电流, 保证任一瞬间每组三相桥电路同时工作。

在整流2重联结时, 利用变压器二次绕组接法的不同, 使两组三相交流电源间相位错开30°, 从而使输出整流电压在一个电源周期中脉动12次, 故两电路均为12脉冲整流电路。整流变压器二次绕组分别采用星形和三角形接法, 为保证两组电压的大小相等, 变压器一次绕组和二次绕组的匝数比为

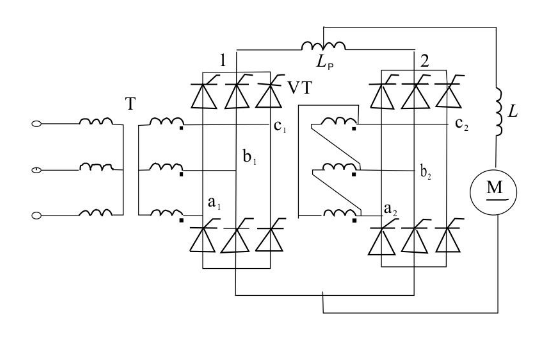


图1 并联联结的12脉冲整流电路的原理图

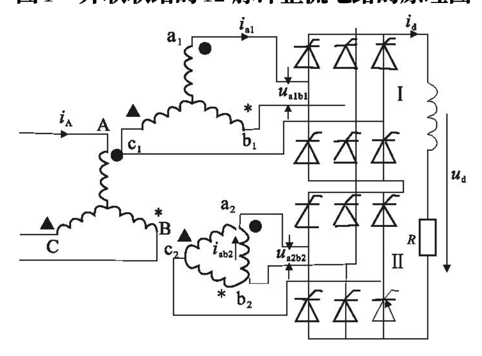


图2 串联联结的12脉冲整流电路的原理图

$1:1:\sqrt{3}$, 其中二次绕组星形接法为1, 三角形接法为$\sqrt{3}$。

根据同样的道理, 利用变压器二次绕组接法的不同, 互相错开20°, 可将三组桥构成串联3重联结。此时, 对于整流变压器来说, 采用星形三角形组合无法移开20°, 可采用曲折接法。串联三重联结的输出整流电压在一个电源周期中脉动18次, 故此电路为18脉冲整流电路。若将整流变压器的二次绕组移相

* 收稿日期: 2008-10-10
作者简介: 陶 慧(1979-), 女, 河南信阳人, 讲师, 主要从事电力电子与电气传动的教学及研究, (E-mail) taohui@hpu. edu. com

15°,可构成串联4重联结电路,此电路为24脉冲整流电路。这里不再给出具体电路[1,5]。

2 多重化整流电路的仿真

由于2重并联联接和2重串联联接波形完全相同,而3重、4重等多重联结时的谐波规律雷同。限于篇幅的原因,只给出2重串联联接的12脉冲整流电路的仿真模型。本文在MATLAB环境下对12脉波整流路进行仿真,Matlab6.5版本中的电力系统工具(PowerSystem Blockset)可用于电力电子电路和系统仿真,文中的模型就是基于该工具箱建立的。

2.1 仿真模型的建立

串联12脉波整流电路的仿真模型见图3。该模型由三相对称交流电压源、整流变压器、晶闸管整流桥、同步脉冲触发器、RLC负载、多路脉冲测量器、Powergui等部分组成。其中多路脉冲测量器、Powergui用于对电路各处的电压和电流波形测量和谐波分析[2,4]。

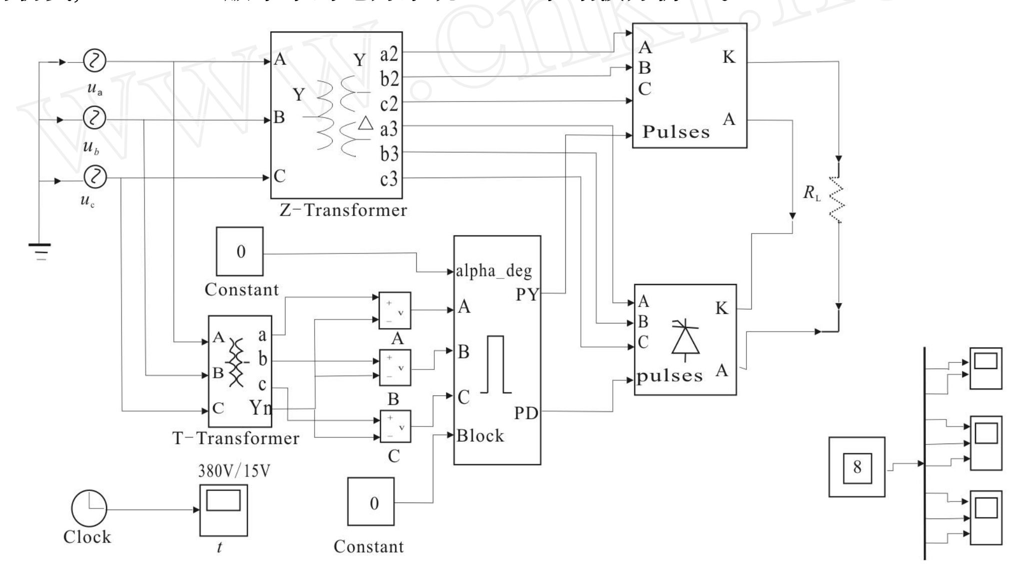


图3 串联联结的12脉冲整流电路的仿真图

2.2 模型参数设置

(1)三相对称交流电压源参数设置:三相对称交流电压源的幅值设为220 V,频率为50 Hz,相位分别为0、-120°、120°。(2)三相变压器参数设置:采用3绕组三相变压器,1次侧绕组采用Y形接线方式,2次侧绕组分别采用Y形和△形接线方式。为了便于观察,3个绕组的额定电压分别取380 V、220 V、220 V。(3)三相晶闸管整流桥参数设置:使用默认值。(4)同步脉冲触发器设置:频率为50 Hz,脉冲的宽度取30°,选择双脉冲触发方式。选定触发角为0°。(5)RLC负载参数设置:$R = 100\ \Omega$, $L = 0$, C取inf。

2.3 仿真参数设置

仿真时间设为0.05 s,数值算法采用ode15 s。

3 仿真结果与谐波分析

3.1 输出电压电流波形和谐波分析

由于为电阻性负载,输出电压和电流的波形形状相同,只是大小不同。

从Powergui中采集到的输出电压的波形和谐波含量如图4。其中图中上半部分为电压波形,下半部分为输出电压的谐波含量,横轴表示谐波次数,纵轴表示各次谐波与基波分量的百分比。从中可以看出输出电压波动较小,一周期有12个波头,谐波含量较低,总谐波含量(THD)仅为1.52%,谐波次数为$12k$ ($k=1, 2, 3, \cdots$)次,其中主要为12次,含量为1.45%。

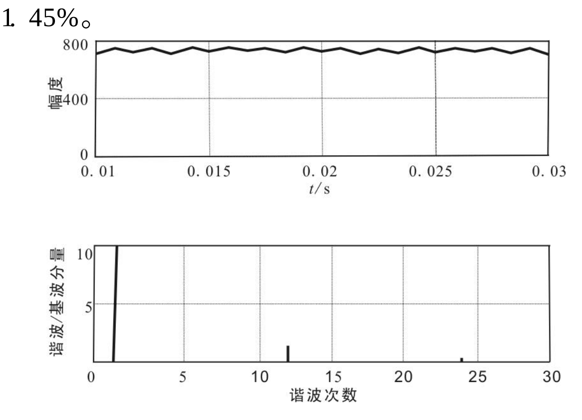


图4 12脉冲电路输出电压波形与频谱

当负载为阻性负载,负载电流的谐波含量与输出电压相同,当负载为感性时,由于电感的滤波作用,负载电流的波动更小,谐波含量更少。

3.2　整流变压器一次侧电流的波形和谐波分析

在整流变压器二次侧三角形接线方式的三相线电流 i_{a3}、i_{b3}、i_{c3} 和星形接线方式处的三相线电流 i_{a2}、i_{b2}、i_{c2} 电流波形都是三相对称的周期波形, 由于二次侧2 个绕组采用Y-△接线方式的缘故, 其△接线比Y 形接线滞后30°。三相线电流 i_{a}、i_{b2}、i_{c2} 的波形如图5。i_{a3}、i_{b3}、i_{c3} 的波形不再给出。

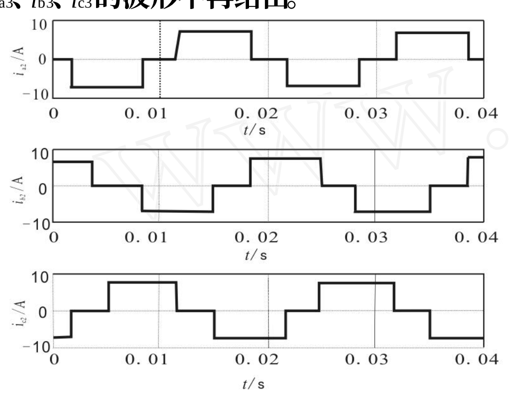


图5　i_{a2}、i_{b2}、i_{c2} 的波形

整流变压器△形接线时的相电流与线电流不同, 相电流折算到变压器一次侧绕组中的线电流是副边的3 倍, 图6 给出了△形接线时折算到原边的三相线电流 i_{ab}, i_{bc}, i_{ca}。

整流变压器Y 形接线折算到一次侧的电流保持不变。整流变压器一次侧的三相线电流 i_{A1}、i_{B1}、i_{C1} 分别为 i_{a2} 与 i_{ab}、i_{b2} 与 i_{bc}、i_{c2} 与 i_{ca} 的和。

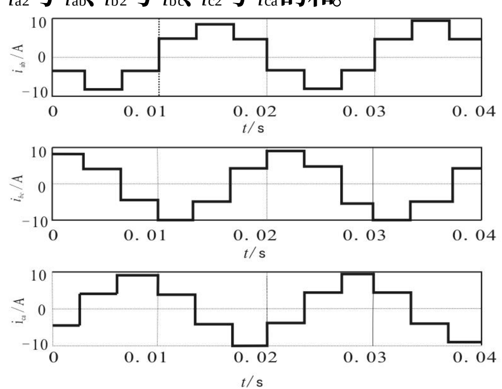


图6　i_{ab}、i_{bc}、i_{ca} 的波形

分别对整流变压器Y 形接线的线电流 i_{a2}、△形接线时折算到原边的线电流 i_{ab}、一次侧的线电流 i_{A1} 进行傅立叶变换[6], 可得:

$$I_{a2} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left[\sin\omega t + \sum_{\substack{n=6k\pm1 \\ k=1,2,3,\cdots}} (-1)^i \frac{1}{n} \sin n\omega t \right],$$

$$(k = 2, 3\quad i = 1;\ k = 1, 4,\ i = 2).$$

$$I_{ab} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left[\sin\omega t + \sum_{\substack{n=6k\pm1 \\ k=1,2,3,\cdots}} (-1)^i \frac{1}{n} \sin n\omega t \right],$$

$$(k = 2, 3\quad i = 1;\ k = 1, 4,\ i = 2).$$

$$I_{A1} = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} I_d \left[\sin\omega t + \sum_{\substack{n=12k\pm1 \\ k=1,2,3,\cdots}} (-1)^k \frac{1}{n} \sin n\omega t \right].$$

图7　一次侧相电流 i_{A1}、i_{B1}、i_{C1} 的波形

从上式可以看出Y 形接线的线电流 i_{a2} 和△形接线时折算到原边的线电流 i_{ab} 的谐波含量完全相同, 都有 $6k\pm1$ 次谐波, 只是 i_{a2} 与 i_{ab} 中5、7、17、19 次的谐波符号相反, 11、13、23、25 次谐波符号相同, 而 i_{A1} 所含的谐波次数为 $12k\pm1$ 次。

从Powergui 中得到的对应的电流的谐波含量如图8 所示。其结果与傅立叶分解式相符。

由傅立叶分解式和图8 可以看出, 由于采用了移相变压器, 两组变压器的副边电流的5、7、17 和19 次谐波数值相同, 符号相反, 相互抵消, 只剩下11、13、23 和25 次谐波, 相比6 脉动整流电路而言, 12 脉动整流电路可以很好的抑制某些特定次数的谐波, 谐波含量更小。

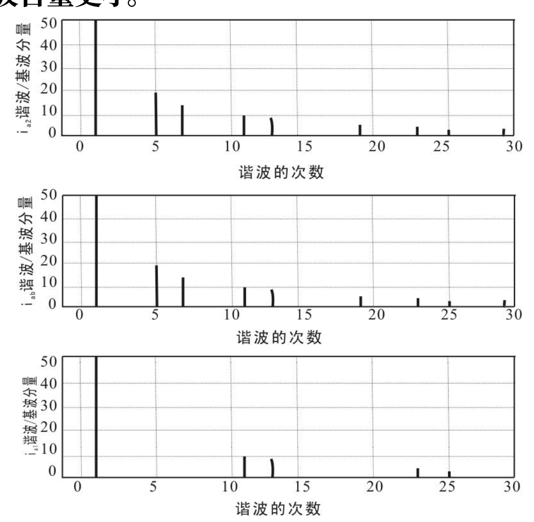


图8　各处电流的频谱图

4 结论

从以上分析可以看出, 采用12脉波整流的联结方法, 输出电压脉动较6脉波整流电路小, 同时很好地抑制输入电流中某些特定次数的高次谐波, 降低了电流的总谐波含量, 从而有效的提高系统的功率因数, 因此在大容量整流电路中有着重要的应用。

如果需进一步稳定输出电压, 降低输入电流的谐波含量, 可采用两组三相桥3重或4重联结, 此时输出电压一周期脉动18或24次, 而输出电流仅含有 $18k \pm 1$ 或 $24k \pm 1$ 次谐波, 电流的谐波含量大为降低。

参考文献:

[1] 王兆安, 等. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.

[2] 冯乃刚, 等. 电力电子和电力拖动控制系统的MATLAB仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[3] 王兆安, 杨君. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京: 机械工业出版社

[4] 张文斌, 靳希. 12脉波整流电路MATLAB-Simulink仿真及谐波分析[J]. 华东电力, 2008, 36(4): 70-73.

[5] 陈鹏, 李晓帆. 一种带辅助电路的12脉波整流电路[J]. 中国电机工程学报, 2006, 6(23): 163-167.

[6] 吕润馀, 段晓波. 多脉动整流电路谐波统一分析[J]. 河北电力技术, 2003, 6(3): 1-3.

Simulation with MATLAB and Harmonic Analysis for Multiplex Rectifiers

TAO Hui, YANG Hai-zhu

(Dept of Electrical Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: The harmonics generated by electronic equipment become the major harmonic sources in power systems. First, the constructure of Multiplex rectifiers was presented. Then, the simulational model with the soft of MATLAB was set up and simulation result was given. The harmonic current generated by the rectification circuit was calculated by Powergui and Fourier Transform, and the working principle of its harmonic elimination is illuminated. Conclusion: the pulsation of output voltage of multiple rectifier is decreased, harmonics of input current in certain high-frequency is inhibited, the total harmonic of current content reduced and the power factor is improved effectively.

Key words: rectifier; multiplex; harmonic; simulation

[责任编辑: 张勇强]